

# SUPER LATTICE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

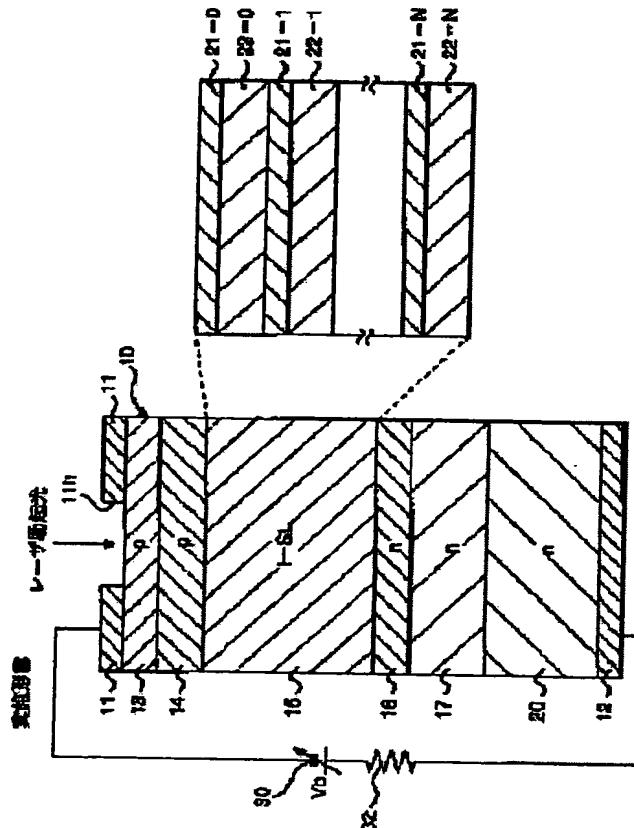
**Patent number:** JP2000091626  
**Publication date:** 2000-03-31  
**Inventor:** OTANI NAOKI; EGAMI NORIFUMI  
**Applicant:** ATR ADAPTIVE COMMUNICATIONS RES LAB  
**Classification:**  
 - **international:** H01L33/00; H01L29/06; H01S5/34  
 - **european:**  
**Application number:** JP19980258194 19980911  
**Priority number(s):**

**Also published as:**  
 JP2000091626 (J)

## Abstract of JP2000091626

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a super lattice semiconductor light emitting device whose light emission wavelength is variable in which the fluctuation of luminous intensity can be made smaller than that of an element in a conventional example, and a high speed operation can be attained with low power consumption.

**SOLUTION:** A super lattice semiconductor element having an intrinsic semiconductor (i) layer 15 having a super lattice structure in which barrier layers 21 and quantum well layers 22 are alternately and repeatedly laminated is provided between two electrodes 11 and 12. Each material and each thickness of the barrier layer 21 and the quantum well layer 22 is selectively set so that electrons can pass through the barrier layer 21 by a tunnel effect, and that the X level of the barrier layer 21 which is present in a  $\&\Gamma$  mini-band and the  $\&\Gamma$  level of the quantum well layer 22 can be turned into a resonating state. At the time of impressing a reverse bias voltage to the super lattice semiconductor light emitting element, carriers are injected by making incident excitation lights, and electrons are moved from the  $\&\Gamma$  level of the quantum well layer 22 through the X level of the barrier layer 21 to the  $\&\Gamma$  level of the quantum well layer 22 in the next stage, and the electrons are recombined with holes so as to emit light.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

# 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-91626

(P 2 0 0 0 - 9 1 6 2 6 A)

(43) 公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51) Int.CI.

H01L 33/00

29/06

H01S 5/34

識別記号

F I

H01L 33/00

29/06

H01S 3/18

テーマコード (参考)

A 5F041

5F073

676

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平10-258194

(22) 出願日

平成10年9月11日 (1998.9.11)

(71) 出願人 396011680

株式会社エイ・ティ・アール環境適応通信  
研究所

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地

(72) 発明者 大谷 直毅

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

(74) 代理人 100062144

弁理士 青山 葵 (外2名)

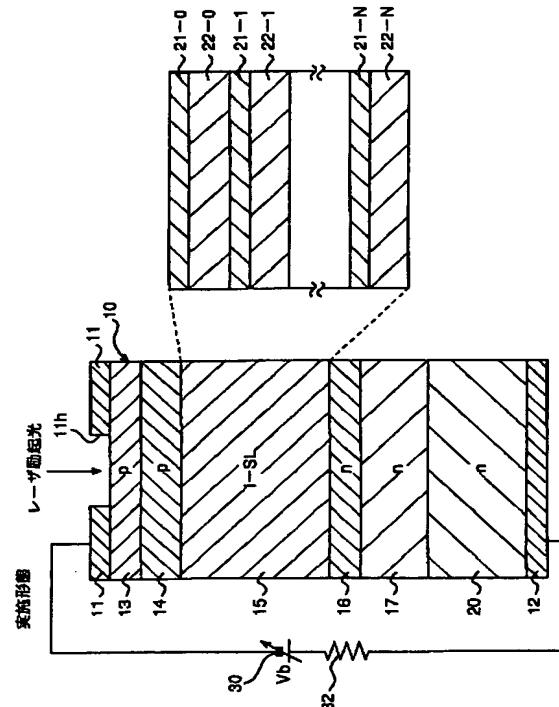
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超格子半導体発光装置

(57) 【要約】

【課題】 発光強度の変動が従来例の素子より少なく、かつ低消費電力で高速動作が可能である発光波長可変の超格子半導体発光装置を提供する。

【解決手段】 2つの電極11, 12間に、障壁層21と量子井戸層22とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子構造を有する真性半導体i層15を有する超格子半導体素子を備える。障壁層21と量子井戸層22の各材料と各厚さを、電子が障壁層21をトンネル効果により通過可能であり、Γミニバンド中に障壁層21のX準位が存在して障壁層21のX準位と量子井戸層22のΓ準位とが共鳴状態となるように選択設定される。超格子半導体発光素子に対して逆バイアス電圧を印加したときに、励起光を入射することによりキャリアを注入して、電子を量子井戸層22のΓ準位から障壁層21のX準位を介して次段の量子井戸層22のΓ準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させて発光させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 2つの電極間に、障壁層と量子井戸層とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子構造を有する真性半導体層を有する超格子半導体素子を備えた超格子半導体発光装置において、

上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるように、かつΓ伝導帯により形成されたΓミニバンド中に上記障壁層のX準位が存在して上記障壁層のX準位と上記量子井戸層のΓ準位とが共鳴状態となるように選択設定され、

上記超格子半導体発光素子に対して逆バイアス電圧を印加したときに、上記超格子半導体発光素子に対して励起光を入射することによりキャリアを注入して、電子を上記量子井戸層のΓ準位から上記障壁層のX準位を介して次段の量子井戸層のΓ準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させることにより発光させることを特徴とする超格子半導体発光装置。

【請求項2】 2つの電極間に、障壁層と量子井戸層とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子構造を有する真性半導体層を有する超格子半導体素子を備えた超格子半導体発光装置において、

上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるように、かつΓ伝導帯により形成されたΓミニバンド中に上記障壁層のX準位が存在して上記障壁層のX準位と上記量子井戸層のΓ準位とが共鳴状態となるように選択設定され、

上記超格子半導体発光素子に対してブレークダウン状態となる順方向電圧を印加することによりキャリアを注入して、電子を上記量子井戸層のΓ準位から上記障壁層のX準位を介して次段の量子井戸層のΓ準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させることにより発光させることを特徴とする超格子半導体発光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、超格子半導体層を有するダイオード型半導体素子を備え、発光動作を行う超格子半導体発光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 超格子半導体層を有するダイオード型半導体素子を備えた従来例の超格子半導体発光装置は、電界を印加することにより量子閉じ込めシユタルク効果によって電子と正孔の発光再結合エネルギーが低くなるため発光波長が単調に長波長側にシフトさせることができる。その発光波長は直流バイアス電圧を変化させることで調整できる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 超格子半導体層を有する従来例の半導体発光素子では、前述の量子閉じ込めシ

ユタルク効果に基づき電界を印加するだけで発光波長を長波長シフトさせることができる。しかしながら、この量子閉じ込めシユタルク効果は発光波長を変化させると同時に発光強度が著しく低下するという問題点があった。

【0004】 また、発光波長を大きく変化させるためには、非常に高い電界を超格子に印加させなければならず、そのため素子の動作速度が制限され、またなだれ降伏（ブレークダウン）の電圧が動作を制限し、またかつ消費電力の低減が難しいという問題点があった。

【0005】 本発明の目的は以上の問題点を解決し、発光強度の変動が従来例の素子より少なく、かつ低消費電力で高速動作が可能な、発光波長可変の超格子半導体発光装置を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る請求項1記載の超格子半導体発光装置は、2つの電極間に、障壁層と量子井戸層とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子構造を有する真性半導体層を有する超格子半導体素子を備えた超格子半導体発光装置において、上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるように、かつΓ伝導帯により形成されたΓミニバンド中に上記障壁層のX準位が存在して上記障壁層のX準位と上記量子井戸層のΓ準位とが共鳴状態となるように選択設定され、上記超格子半導体発光素子に対して逆バイアス電圧を印加したときに、上記超格子半導体発光素子に対して励起光を入射することによりキャリアを注入して、電子を上記量子井戸層のΓ準位から上記障壁層のX準位を介して次段の量子井戸層のΓ準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させることにより発光させることを特徴とする。

【0007】 また、本発明に係る請求項2記載の超格子半導体発光装置は、2つの電極間に、障壁層と量子井戸層とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子構造を有する真性半導体層を有する超格子半導体素子を備えた超格子半導体発光装置において、上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるように、かつΓ伝導帯により形成されたΓミニバンド中に上記障壁層のX準位が存在して上記障壁層のX準位と上記量子井戸層のΓ準位とが共鳴状態となるように選択設定され、上記超格子半導体発光素子に対してブレークダウン状態となる順方向電圧を印加することによりキャリアを注入して、電子を上記量子井戸層のΓ準位から上記障壁層のX準位を介して次段の量子井戸層のΓ準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させることにより発光させることを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】 以下、図面を参照して本発明に係る実施形態について説明する。

【0009】 図1は、本発明に係る一実施形態である超

格子半導体素子10を備えた超格子半導体発光装置の構造を示す断面図であり、図2は、図1の超格子半導体素子10のエネルギー・バンド構造を示すエネルギー・準位図であり、図3は、図1の超格子半導体素子10に逆バイアス電圧を印加したときのエネルギー・バンド構造を示すエネルギー・準位図である。

【0010】本実施形態の超格子半導体装置は、2つの電極11、12間に、障壁層21-0乃至21-N（以下、総称の符号として21と付す。）と量子井戸層22-1乃至22-N（以下、総称の符号として22と付す。）とが交互に積層されてなる超格子半導体構造を有する真性半導体i層15をそれぞれ、n型クラッド層14及び16を介して挿設し、さらにp型キャップ層13とn型バッファ層17を介して挿設するヘテロ接合p-i-n型ダイオード素子である超格子半導体素子10を備える。ここで、電極11、12間に可変電圧直流電源30によって逆バイアス電圧を印加し、超格子半導体構造を有する真性半導体i層15にキャリアを励起するレーザ励起光を入射したとき、その超格子半導体構造は図2に示すように、Γ伝導帯により形成されるΓ1ミニバンド内部に、障壁層21にX1準位が存在するように、障壁層21及び量子井戸層22の各材料及び各厚さを選択設定したことを特徴としている。

【0011】従来技術の超格子半導体素子では、発光波長を長波長シフトするためには素子に直流逆バイアス電圧を印加して電子と正孔の発光再結合エネルギーを低減させていたが、本実施形態においては、わずかな印加電界によってX準位がΓミニバンドの電子輸送を抑制し、X準位自身が発光に関与する超格子半導体構造を有する超格子半導体素子を用いる。

【0012】本実施形態の超格子半導体素子10は、図1に示すように、裏面に平板形状のAuからなる電極12が形成され、Siにてなるn型不純物イオンが例えば注入量 $10^{18}/cm^3$ だけ注入されたn-GaAsにてなる厚さ $300\mu m$ のn型半導体基板20上に、以下の各層が順次、n型半導体基板20から近接した側から積層されて形成される。

(a) Siにてなるn型不純物イオンが例えば注入量 $10^{18}/cm^3$ だけ注入されたn-GaAsにてなる厚さ $200nm$ のn型バッファ層17。

(b) Siにてなるn型不純物イオンが例えば注入量 $5\times 10^{17}/cm^3$ だけ注入されたn-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asにてなる厚さ $500nm$ のn型クラッド層16。

(c) 超格子半導体構造を有する厚さ約 $600nm$ の真性半導体i層(i-SL)15。

(d) Beにてなるp型不純物イオンが例えば注入量 $5\times 10^{17}/cm^3$ だけ注入されたn-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asにてなる厚さ $200nm$ のn型クラッド層14。

(e) Beにてなるp型不純物イオンが例えば注入量 $2\times 10^{18}/cm^3$ だけ注入されたp-GaAsにてなる

厚さ $110nm$ のp型キャップ層13。

(f) 厚さ方向に貫通する開口が中央部に形成されたリング形状のAuからなる電極11。

【0013】なお、上記の積層を行った後に所定のエッチング方法により電極11をリング形状に形成する。また、上記真性半導体i層15は、例えば、量子井戸層22-Nがn型クラッド層16に隣接するように、GaAsにてなり $11$ 原子層の厚さ $3.1nm$ の量子井戸層22と、AlAsにてなり7原子層の厚さ $2nm$ の障壁層21とを交互に、例えばN=100周期（すなわち100対）で積層されて形成される。そして、電極11は逆バイアス電圧Vbの可変直流電源30の負極に接続され、その正極は、負荷回路となる負荷抵抗32を介して電極12に接続される。これによって、超格子半導体素子10の電極11、12間に逆バイアス電圧が印加されて、所定の電界が印加されることになる。

【0014】以上のように構成された超格子半導体装置において、超格子半導体素子10の両端の電極11、12にバイアス電圧を印加すると、超格子に対して垂直な方向に電界が印加され、障壁層21のX1準位と量子井戸層22のΓ1準位とが共鳴して、加速された電子はトンネル効果によってΓミニバンド内を動き隣の量子井戸層22に進む。すなわち、図3に示すように、障壁層21のX1準位にある電子は、量子井戸層22のΓ1準位を介して次段の障壁層21のX1準位に遷移し、これを繰り返す。そして、障壁層21のX1準位にある電子が価電子帯Evの量子井戸層22の所定の準位に、同時に光励起された正孔との発光再結合により光を放射する。このときの発光波長は電子と正孔のエネルギーにより決まる。

【0015】本発明においては、超格子半導体層である真性半導体i層15に様々な材料を用いることができる。また、超格子半導体層の材料は3種類以上の組み合わせでもよい。例えば、真性半導体i層15は、GaAs/AlAsの超格子半導体層に限らず、InGaAs/InAlAs又はInGaN/InAlNなどの超格子半導体層であってもよい。

【0016】

【実施例】本発明者は、図1に示す実施形態の超格子半導体素子を作製して実験を行った結果を以下に示す。本実施例では発光を測定するためにストリーカーカメラを用いている。

【0017】GaAs/AlAsの超格子半導体素子において、(1) GaAs-Γ点量子井戸に局在しているΓ-電子準位と、GaAs-Γ正孔準位間の光学遷移(タイプ-I遷移)及び、(2) X点ポテンシャルによる量子効果を受け、AlAs層に局在しているAlAs-X電子準位とGaAs-Γ正孔準位間の光学遷移(タイプ-II遷移)がある。本実施例の超格子半導体発光素子の特徴は、タイプIの超格子半導体素子における無電

界時のエネルギーバンド構造を示す図2に示すように、1番目のGaAs- $\Gamma$ 電子状態はミニバンド状態を形成し、そのミニバンドエネルギー領域中に1番目のX電子準位(X1準位)が形成されていることである。外部からの直流逆バイアス電圧による直流電界により、 $\Gamma$ 1電子のミニバンド状態は破綻し、印加電圧が1.0V近傍においては、図3に示すように、1番目の $\Gamma$ 1電子準位とX1電子準位間のエネルギー共鳴が発生する。この $\Gamma$ -X電子のエネルギー共鳴により、 $\Gamma$ -X混成効果の増強が生じ、タイプII遷移強度が増強されると考えられる。

【0018】図4は、図1の超格子半導体素子10において逆バイアス電圧に対するエネルギー準位を示すグラフであり、電界変調反射(ER)信号強度の印加電圧依存性を示しており、ER信号強度は濃淡で表されている。図中の $\Gamma$ 1(X1準位)-HH1は1番目のGaAs- $\Gamma$ (AlAs-X)電子準位とGaAs- $\Gamma$ 重い正孔間のタイプI(タイプII)光学遷移を、カッコ内の数字は光学遷移に関与している電子準位及び正孔準位の局在量子井戸の隔たりを超格子周期に対する倍数で示している。通常の光学スペクトルにおいては、ほとんど観測されないタイプI超格子におけるタイプII-X1-HH1光学遷移が明確に観測されている。これはERスペクトルの発生原理から説明され、これまで観測が困難であったタイプI超格子におけるX電子準位が、ER分光法により明確に検出されることを示している。ここで、特筆すべきは、1.0V近傍におけるX1(+1/2)-HH1遷移強度であり、この電圧領域におけるX1(+1/2)-HH1遷移強度の顕著な増強は、図3に示されるようなエネルギー状態における、 $\Gamma$ -X混成効果の増強に伴うタイプII遷移強度の増強として理解される。

【0019】図5に、光強度約1mWのヘリウムネオンレーザーで光励起したときの超格子半導体素子10に印加される直流逆バイアス電圧Vbに対するホトルミネッセンスの発光波長スペクトルを示す。ここで、EBは、波長705nm付近における発光強度のピークを示し、EXは、波長697nm付近における発光強度のピークを示し、ESは、波長693nm付近における発光強度のピークを示す。

【0020】図5の実験において、直流逆バイアス電圧を2Vから8Vまで0.25Vきざみで変化させており、見易さを考慮して縦方向にずらして表示している。図5から明らかに、直流逆バイアス電圧が2Vのときは、EBで示すように、 $\Gamma$ ミニバンド下端からの発光による波長705nmにピークを持つホトルミネッセンスが生じている。しかし、直流逆バイアス電圧をわずかに増加させると、EXで示すように、697nm付近

n-i-n型超格子半導体素子

にX準位による発光が現われ、直流逆バイアス電圧2.5Vによって両者の発光強度は逆転する。直流逆バイアス電圧が3.5Vでは $\Gamma$ ミニバンド下端からの発光はほとんど確認することができないほどに弱くなっている。以上のように発光波長は低電界では $\Gamma$ ミニバンド下端が支配的となっているが、わずかな電界の印加によってキャリアの走行がX準位によって阻害され、X準位にトラップされた電子が発光に関与し、なおかつそのX準位のエネルギーは $\Gamma$ ミニバンド下端より高いために発光波長が短波長側にシフトする。すなわち、直流逆バイアス電圧を変化させることにより発光波長を変化させることができ、また、より大きな発光強度を得ることができるのは、例えば2Vのような低い電圧である。

【0021】以上詳述したように、本実施形態によれば、直流電源30を用いて超格子半導体発光素子に逆バイアス電圧を印加した状態で、レーザ励起光を入射することによりキャリア注入を行って、図2に示す $\Gamma$ 1ミニバンド中に障壁層21のX1準位を位置させて、量子井戸層22の $\Gamma$ 1準位と障壁層21のX1準位とを共鳴させて、電子を $\Gamma$ 1ミニバンド中で遷移輸送させ、かつ正孔との再結合を行って発光させている。従って、発光強度の変動は従来例の素子より小さく、かつ低いバイアス電圧で動作可能であるので、低消費電力で高速動作が可能な、発光波長可変の超格子半導体発光装置を提供することができる。

【0022】<変形例>以上の実施形態においては、直流電源30を用いて超格子半導体発光素子に逆バイアス電圧を印加した状態で、レーザ励起光を入射することによりキャリア注入を行っているが、本発明はこれに限らず、逆バイアス電圧を印加せず、超格子半導体発光素子に対してブレークダウン状態となる順方向電圧を印加することにより、図2に示す $\Gamma$ 1ミニバンド中に障壁層21のX1準位を位置させて、量子井戸層22の $\Gamma$ 1準位と障壁層21のX1準位とを共鳴させて、電子を $\Gamma$ 1ミニバンド中で遷移輸送させ、かつ正孔との再結合を行って発光させるように構成してもよい。この変形例の素子においても、実施形態と同様の作用効果を有する。

【0023】以上の実施形態においては、GaAs/A1Asからなる超格子半導体層を有するp-i-n型ダイオード素子である超格子半導体素子10について述べているが、本発明はこれに限らず、表1及び表2に示すn-i-n型超格子半導体素子又はn'-n'-n'型超格子半導体素子であってもよい。表1及び表2において、組成比はこれに限定されない。クラッド層は真性半導体であってもよい。

【0024】

【表1】

( $\text{cm}^3$ ) , 不純物

キャップ層 13	n-GaAs	110 nm	$2 \times 10^{18}$ , Si
クラッド層 14	n-Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As	200 nm	$5 \times 10^{17}$ , Si
真性半導体 i 層 15	GaAs / AlAs	3.4 nm 5 nm	
	周期N=100		
クラッド層 16	n-Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As	500 nm	$5 \times 10^{17}$ , Si
バッファ層 17	n-GaAs	200 nm	$10^{18}$ , Si
半導体基板 20	n-GaAs	300 $\mu\text{m}$	$10^{18}$

【0025】

【表2】

n<sup>+</sup> - n<sup>-</sup> - n<sup>+</sup>型超格子半導体素子

層又は基板	組成	厚さ	不純物のドープ量 ( $\text{cm}^3$ ) , 不純物
キャップ層 13	n <sup>+</sup> -GaAs	110 nm	$5 \times 10^{18}$ , Si
クラッド層 14	n <sup>-</sup> -Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As	200 nm	$1 \times 10^{17}$ , Si
真性半導体 i 層 15	n <sup>-</sup> -GaAs / n <sup>-</sup> -In <sub>0.1</sub> Al <sub>0.9</sub> As	3.4 nm 5 nm	$1 \times 10^{17}$ , Si $1 \times 10^{17}$ , Si
	周期N=30		
クラッド層 16	n <sup>-</sup> -In <sub>0.1</sub> Al <sub>0.9</sub> As	500 nm	$5 \times 10^{17}$ , Si
バッファ層 17	n <sup>+</sup> -GaAs	200 nm	$10^{18}$ , Si
半導体基板 20	n <sup>+</sup> -GaAs	300 $\mu\text{m}$	$10^{18}$ , Si

【0026】なお、電極 11 に励起光を入射する開口 1  
1 h を形成しなくてもよく、その場合は、電極 11 を薄  
く形成することにより、励起光を通過させる。

【0027】

【発明の効果】以上詳述したように本発明に係る請求項  
1 記載の超格子半導体発光装置によれば、2つの電極間  
に、障壁層と量子井戸層とが交互に繰り返して積層形成  
してなる超格子構造を有する真性半導体層を有する超格  
子半導体素子を備えた超格子半導体発光装置において、  
上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子  
が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるよう  
に、かつ  $\Gamma$  伝導帯により形成された  $\Gamma$  ミニバンド中に上記  
障壁層の X 準位が存在して上記障壁層の X 準位と上記  
量子井戸層の  $\Gamma$  準位とが共鳴状態となるように選択設定

され、上記超格子半導体発光素子に対して逆バイアス電  
圧を印加したときに、上記超格子半導体発光素子に対し  
て励起光を入射することによりキャリアを注入して、電  
子を上記量子井戸層の  $\Gamma$  準位から上記障壁層の X 準位を  
介して次段の量子井戸層の  $\Gamma$  準位に遷移させかつ電子を  
正孔と再結合させることにより発光させる。従って、発  
光強度の変動は従来例の素子より小さく、かつ低いバイ  
アス電圧で動作可能であるので、低消費電力で高速動作  
が可能な、発光波長可変の超格子半導体発光装置を提供  
することができる。

【0028】また、本発明に係る請求項 2 記載の超格子  
半導体発光装置によれば、2つの電極間に、障壁層と量  
子井戸層とが交互に繰り返して積層形成してなる超格子  
構造を有する真性半導体層を有する超格子半導体素子を

備えた超格子半導体発光装置において、上記障壁層と上記量子井戸層の各材料と各厚さを、電子が上記障壁層をトンネル効果により通過可能であるように、かつ $\Gamma$ 伝導帯により形成された $\Gamma$ ミニバンド中に上記障壁層のX準位が存在して上記障壁層のX準位と上記量子井戸層の $\Gamma$ 準位とが共鳴状態となるように選択設定され、上記超格子半導体発光素子に対してブレークダウン状態となる順方向電圧を印加することによりキャリアを注入して、電子を上記量子井戸層の $\Gamma$ 準位から上記障壁層のX準位を介して次段の量子井戸層の $\Gamma$ 準位に遷移させかつ電子を正孔と再結合させることにより発光させる。従って、発光強度の変動は従来例の素子より小さく、かつ低いバイアス電圧で動作可能であるので、低消費電力で高速動作が可能な、発光波長可変の超格子半導体発光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る一実施形態である超格子半導体素子10を備えた超格子半導体発光装置の構造を示す断面図である。

【図2】 図1の超格子半導体素子10のエネルギーバンド構造を示すエネルギー準位図である。

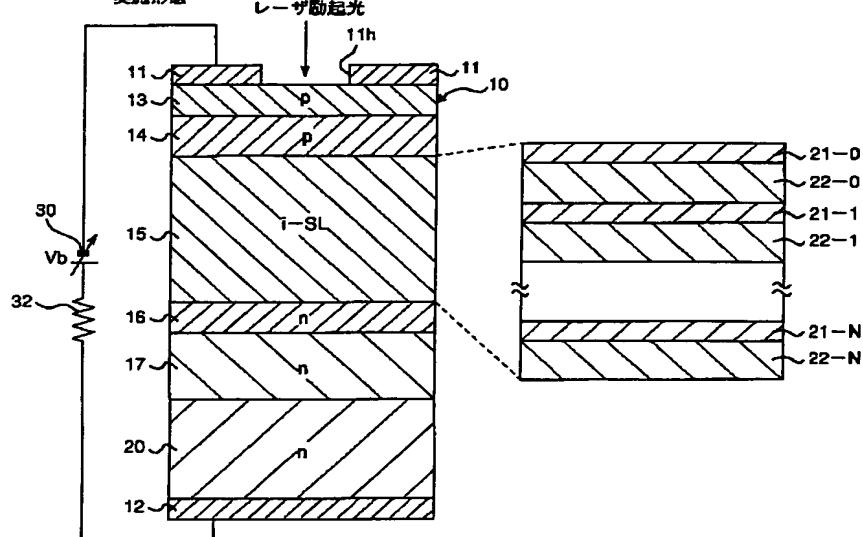
10 10…超格子半導体素子、  
 11, 12…電極、  
 13…p型キャップ層、  
 14…p型クラッド層、  
 15…真性半導体i層、  
 16…n型クラッド層、  
 17…n型バッファ層、  
 20…n型半導体基板、  
 21-0乃至21-N…障壁層、  
 22-0乃至22-N…量子井戸層、  
 30…可変電圧直流電源、  
 32…負荷抵抗。

【図3】 図1の超格子半導体素子10に逆バイアス電圧を印加したときのエネルギーバンド構造を示すエネルギー準位図である。

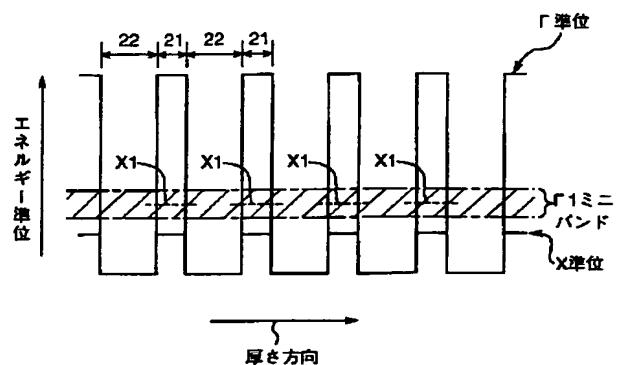
【図4】 図1の超格子半導体素子10において逆バイアス電圧に対するエネルギー準位を示すグラフである。

【図5】 図1の超格子半導体素子10に印加される直流逆バイアス電圧に対するホトルミネッセンス発光スペクトルを示すスペクトル図である。

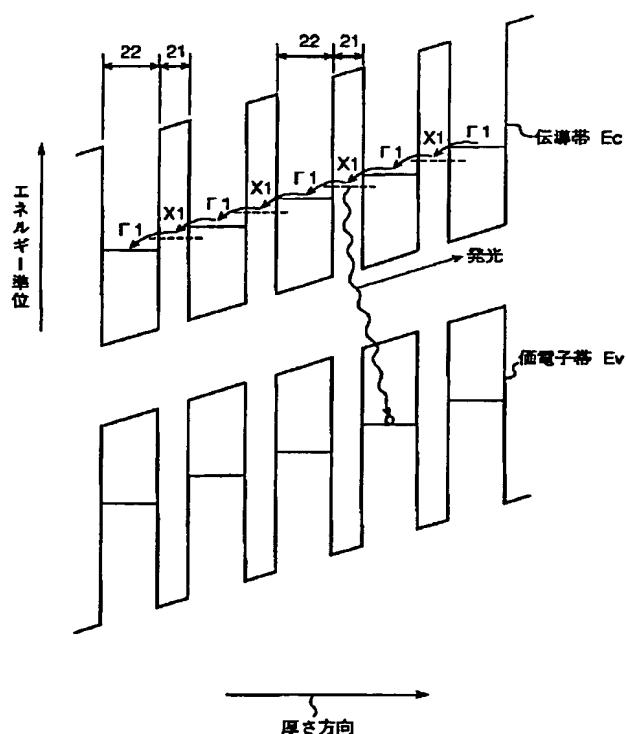
【符号の説明】



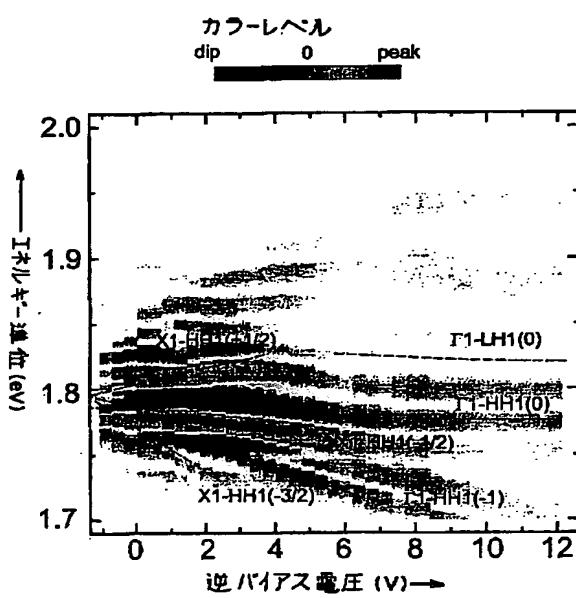
【図 2】



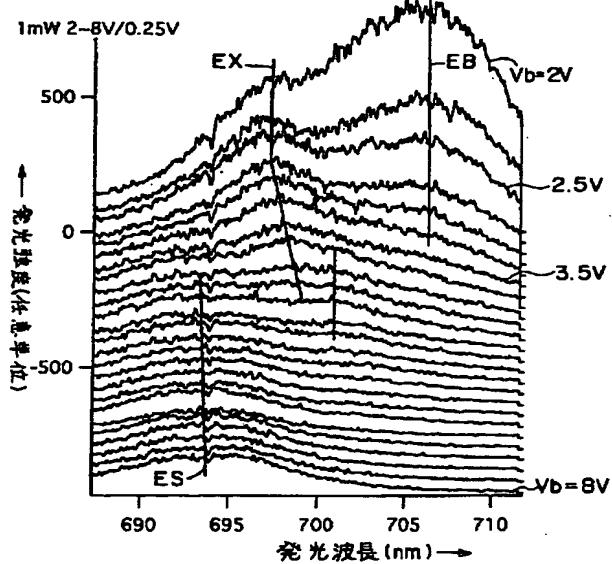
【図 3】



【図 4】



【図 5】



## フロントページの続き

(72)発明者 江上 典文  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

Fターム(参考) 5F041 AA12 CA05 CA36  
5F073 AA74 CA04 EA29